



TÍTULO DE LA COMUNICACIÓN: Análisis de la eficiencia de las políticas

contra la desertificación llevadas a cabo en la cuenca del río Guadalentín mediante

Análisis Envoltante de Datos (DEA)

AUTOR 1: Joaquín Solana Gutiérrez

Email: joaquin.solana@upm.es

AUTOR 2: Beatriz Castro Pérez

Email: bcastro@montes.upm.es

AUTOR 3: Sara Ramos Agama

Email: sramos@tragsatec.es

DEPARTAMENTO: Economía y Gestión Forestal

UNIVERSIDAD: Universidad Politécnica de Madrid

ÁREA TEMÁTICA:

5. Energía, sostenibilidad, recursos naturales y medio ambiente

13. Métodos de análisis regional

RESUMEN:

La comarca murciana de la cuenca del Guadalentín históricamente ha presentado un problema de desertificación caracterizado por la pérdida del suelo productivo, la degradación del paisaje natural y el despoblamiento. Desde principios del siglo XX han sido realizados grandes esfuerzos en la repoblación forestal y en la restauración hidrológica de la cuenca, además en los últimos años se han diversificado las políticas contra la desertificación incluyendo nuevas acciones, tales como ayudas para el cese del cultivo, declaraciones de espacios protegidos y mejoras de la infraestructura de los regadíos. Después de 25 años de acciones combinadas se ha querido evaluar la

eficiencia de los recursos aplicados cara a la maximización del objetivo de atenuación del proceso de desertificación.

Mediante análisis envolvente de datos (DEA) con ponderación cruzada se ha analizado la eficiencia de las diversas actuaciones aplicadas en ocho municipios de la cuenca del río Guadalentín, en búsqueda de la mejor política aplicada entre los años 1978 y 2003. Mediante el DEA no sólo se ha obtenido una valoración de la eficiencia global de cada municipio, además el análisis de la matriz de ponderación cruzada ha permitido determinar la contribución neta de cada recurso utilizado.

PALABRAS CLAVE:

Desertificación, Análisis Envolvente de Datos, Guadalentín, Erosión, Programación

multicriterio

1. Análisis de las políticas de desertificación

Desde finales del siglo XIX la Administración forestal española ha tenido como objetivo prioritario los trabajos contra la desertificación del sureste peninsular. En un principio las actuaciones se centraron en la repoblación forestal masiva, la estabilización de laderas y la aplicación de técnicas de conservación de suelos (Rojo Serrano, 1998; Martínez et al., 2000; Valbuena-Carabana et al., 2009), sin embargo las políticas de los últimos años del siglo XX (Rojo Serrano et al., 2002) y principios del XXI (DGCN, 2001) se han diversificado, actualmente incluyendo la transformación de los cultivos de secano a regadío y el abandono subvencionado de los aprovechamientos agropecuarios de bajo rendimiento (Cansino Muñoz-Repiso, 2000; EC, 1998, 2002a).

Las políticas de repoblación forestal, que en los primeros tiempos se caracterizaron por la utilización masiva de mano de obra y por el cuidado en la plantación (Codorníu, 1910), derivaron en el último cuarto de siglo XX en una agresiva mecanización que provocaba impactos ambientales indeseables (MOPU, 1989). La concienciación ecológica de la sociedad, la disminución de la población rural activa, la tecnificación de la agricultura y la aplicación de ayudas de la política agraria y desarrollo rural de la Unión Europea (EC, 2002b, 2002c) ha conducido a que las actuaciones contra la desertificación sean más diversificadas y menos agresivas (Atance & Tió, 2000; Seely & Wöhl, 2004).

Una de las comarcas donde más se ha actuado es en la cuenca del río Guadalentín situada al sur de la provincia de Murcia y norte de Almería, donde sucedieron las trágicas inundaciones del día de Santa Teresa de 1879 o las acaecidas en Octubre de 1973 (CHCS, 2001). En 1888 se constituye la Comisión de Repoblación de la Cuenca del Segura y se comienzan los trabajos de repoblación y restauración hidrológico forestal de las cabeceras de las cuencas en Sierra Espuña (Codorníu, 1910), desde entonces las labores de plantación, conservación de suelos, fijación de laderas, construcción de diques y gaviones han sido continuas (Del Palacio et al., 1999). Por otra parte, en los últimos años los cultivos en invernaderos se han extendido, tanto en llanos como en terrazas, mientras que los secanos en pendiente, de difícil acceso y erosionados están siendo abandonados, apareciendo formaciones vegetales seriales autóctonas (García-Ruiz, 2010). En otras ocasiones, estos terrenos han sido repoblados con distintas especies arbóreas (Olivos, almendros, encinas y pinos) con ayudas europeas, así mismo se han declarado nuevos espacios protegidos.

El balance del proceso de desertificación entre 1978-2003 de la cuenca del río Guadalentín, estimado mediante indicadores de estado (Enne & Zucca, 2000), refleja

una clara mejoría, basada en una menor pérdida de suelo, mayor naturalidad del paisaje y la estabilización de la población, sin embargo se estima que el proceso de salinización de los acuíferos presenta un agravamiento debido al uso intensivo de aguas subterráneas a la vez que de un abonado mineral excesivo (MIMAM, 1998a, 2001; CHCS, 2001; López-Bermúdez et al., 2002; Pérez-Sirvent et al., 2006).

La desertificación es un proceso multidimensional, complejo y lento, distinguiéndose una componente física, una componente biológica y otra social y donde los efectos de las acciones emprendidas para su atenuación se diluyen en el tiempo (UNCOD, 1977; UNCCD, 1994). Consecuentemente, el balance de resultados presenta múltiples facetas y cuestiones de difícil respuesta a corto plazo, siendo necesaria su evaluación al cabo de décadas (EEA, 2001).

Internacionalmente se admite que entre los principales factores de la desertificación se encuentran: la erosión y pérdida de suelo, la salinización de suelos y acuíferos, la deforestación, la pérdida de la diversidad paisajística y el despoblamiento. El análisis técnico del proceso y de sus factores exige fijar un conjunto de indicadores de situación que reflejen su evolución (MIMAM, 1998b).

En el presente estudio se entiende por “política contra la desertificación” el conjunto de acciones, ejecución de planes y proyectos aplicados en los distintos términos municipales con el objetivo de paliar la desertificación en alguno de sus componentes. Dentro de estas acciones se incluyen tanto los proyectos de reforestación llevados a cabo por las distintas administraciones públicas, como los ejecutados por las empresas y particulares mediante los instrumentos económico-fiscales disponibles (subvenciones al cese de actividad agraria, las subvenciones a la mejora de infraestructura agroforestal, las ayudas agroambientales, etc.).

En cuanto a la información utilizada, no ha sido posible acceder a suficientes datos económicos de las subvenciones y ayudas recibidas por los agricultores. Por otra parte, en algunas actuaciones de la Administración pública se carecía de la necesaria concreción del momento y localización de las labores de repoblación, por lo que no se ha podido aplicar metodologías analíticas donde intervinieran tipos de interés, capitalizaciones o descuentos.

Por todo lo anterior, se ha optado por analizar las políticas en función de variables físicas, tales como: hectáreas repobladas, superficie sometida a planificación hidrológica con prácticas de conservación de suelos, disminución de la superficie de secano, aumento de la superficie de regadío o la superficie declarada como espacio

natural protegido. En consecuencia, las “políticas contra la desertificación” se van a caracterizar por un conjunto de indicadores territoriales asociados a cada término municipal, que es la unidad de decisión (DMU) adoptada en el trabajo.

El estudio y sus resultados se deben interpretar a escala comarcal, si bien muchos de los indicadores utilizados han sido obtenidos en escalas de mayor nivel de detalle (Pérdidas de suelo, salinidad, diversidad del paisaje) utilizando un sistema de información geográfica (ArcGIS® 9.3.).

El objetivo que se persigue es la búsqueda de qué acciones llevadas a cabo contra la desertificación han contribuido mayormente a evitar la desertificación, sobre qué componente han actuado y con qué eficacia.

El problema se ha modelado mediante la optimización de la razón entre objetivos alcanzados y recursos aplicados, ambos estimados mediante funciones lineales multidimensionales compuestas por subconjuntos de indicadores de estado (pérdidas de suelo, aumento de la salinización, disminución de la cubierta vegetal, degradación de la vegetación) y de respuesta (replantación forestal, planificación hidrológica y conservación de suelos, abandono de cultivos, construcción de diques, etc.) (Hammond et al., 1995; Rubio & Bochet, 1998; Gobin et al., 2004). El modelo utilizado establece para cada término municipal (DMU) un vector multicriterio de indicadores de estado (O) y de actuaciones (E), buscándose la DMU que optimice la eficacia de forma que consiga los mayores logros contra la desertificación con los menores recursos.

2. Localización y geografía del estudio

El estudio se ha desarrollado en la comarca agraria del Guadalentín, que es una de las seis que forman la Región de Murcia, con una superficie de 3096'4 km² perteneciente a ocho municipios: Águilas (251'7 km², 26.733 habitantes), Aledo (49'2 km², 1.005 hab.), Alhama de Murcia (311'5 km², 17.478 hab.), Librilla (56'5 km², 3.873 hab.), Lorca (1674'8 km², 70.689 hab.), Mazarrón (318'5 km², 17.478 hab.), Puerto Lumbreras (144'8 km², 7.021 habitantes) y Totana (288'9 km², 21.973 hab.). Excepto el Río Guadalentín, no existen cauces de aguas permanentes aunque hay dos embalses: Valdeinfierno y Puentes. Los acuíferos de la zona tienen gran extensión y volumen de reservas. Sin embargo, la sobreexplotación generalizada y la degradación asociada, fundamentalmente en forma de salinización, ha generado una situación que es

crítica en muchas subunidades hidrológicas tales como la unidad “Valle del Guadalentín” o “Águilas-Mazarrón” (Ballesteros et al., 2001; CHCS, 2001).

Los suelos están poco evolucionados, con pocos horizontes y de difícil diferenciación. Su profundidad y características fisicoquímicas vienen determinadas por el tipo de estrato geológico; los suelos de mayor profundidad se encuentran sobre sustrato blando y en zonas llanas, y los de menor profundidad sobre sustrato rocoso resistente y en pendiente.

La vegetación de la zona está formada por matorrales no degradados (*Quercus coccifera* L., *Pistacia terebinthus* L., *Rhamnus alaternus* L., *Arbutus unedo* L.), matorrales regresivos con esparto (*Rosmarinus officinalis* L., *Thymus* ssp., *Stipa tenacissima* L.), pinares con sabinas (*Pinus halepensis* Mill. y *Juniperus oxycedrus* L.) y en las zonas de media montaña y pie de monte se pueden encontrar montes de encinas (*Quercus ilex* L.) con coscojas (*Quercus coccifera* L.), acebuches (*Olea europea* L.) y algarrobos (*Ceratonia siliqua* L.). En Lorca y Puerto Lumbreras se presentan extensas zonas con cultivos de secano, matorrales y espartizales (*S. tenacissima*), con algunos pinares (*P. halepensis*) en las sierras. Los cultivos de regadío aparecen en la vega del Guadalentín. En la zona oriental (Mazarrón) predominan los ecosistemas acuáticos: humedales, lagunas salobres, saladares y salinas. En la Sierra de Carrascoy aparece el encinar mediterráneo húmedo de Murcia. En Totana abunda el palmito (*Chamaerops humilis* L.). En Sierra Espuña se pueden ver rodales con quejigo (*Quercus faginea* Lamk.) , sabina (*Juniperus sabina* L.), arce (*Arce monspessulanum* L.) y madroño (*Arbutus unedo* L.) (Rojo Serrano et al., 2002; Martínez Artero et al., 2004).

3. Fuentes de datos e indicadores ambientales

Un sistema de indicadores debe estar basado en variables fácilmente medibles e interpretables (Hammond et al., 1995; Rubio & Bochet, 1995; EEA, 1999). Las fuentes de información utilizadas para la confección de los indicadores han sido las siguientes.

VEGETACIÓN: La cartografía digitalizada de vegetación se obtuvo de los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos de 1978 (MAPA, 1978) y 2003 (MAPA 2003). La información sobre vegetación también ha sido utilizada para la obtención de las cartografías de erosión laminar (Williams, 1975; Yitayew et al., 1999; Zhang et al., 2008), salinización edáfica (Pérez-Sirvent et al. 2003; MIMAM, 2001) y diversidad estructural (Alberdi et al., 2005; Saura et al., 2008).

DIVERSIDAD: Como indicador de diversidad estructural del territorio se ha fijado el índice de Shannon-Wiener relativo a las formaciones vegetales por ser uno de los más simples y utilizados (Magurran, 1988). La consideración de la diversidad estructural como un indicador de sostenibilidad ha sido rápidamente aceptada por la comunidad científico-técnica (Saura et al., 2008), y actualmente el III Inventario Forestal Nacional incorpora estos índices (DGCN, 2003; Alberdi et al., 2005).

EROSION: Se ha utilizado la información contenida en el Mapa de Estados Erosivos (ICONA, 1988) y en el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (DGCN, 2002) y se han extrapolado los datos para confeccionar homogéneamente dos mapas de erosión laminar según la MUSLE (William, 1975; Zhang et al., 2008) uno relativo al año 1978 y otro a 2003.

SALINIDAD: Con la información del Mapa Digital de Suelos de la Región de Murcia (CAAMA, 1999), donde se cartografía la presencia de procesos de salinización, se han identificado los factores del proceso y se ha construido un modelo, mediante programación dinámica, del proceso de salinización de la cuenca (MIMAM, 1998a; MIMAM, 2002; Perez-Sirvent, 2006). Con el modelo obtenido y los registros muestrales se han confeccionado dos mapas sobre el estado de la salinización, uno referido a 1978 y otro a 2003 (Pérez-Sirvent, 2003; Martínez Sánchez et al., 2005).

POBLACIÓN: Se obtuvo la información del Censo de población en los años 1978 y 2003 (INE, 2005).

REFORESTACION: La información referente a las actuaciones de corrección hidrológico-forestal se ha obtenido de los técnicos de la administración autonómica y estatal y de la documentación de sus propuestas (Rojo Serrano et al., 2002; Martínez Artero et al., 2004). Se han registrado las superficies repobladas, las superficies cubiertas por proyectos de corrección hidrológico-forestal y el número de proyectos llevados a cabo.

Cuando se planteó el estudio se esperaba que fuera fácil el acceso a la información de las actuaciones llevadas a cabo y de los recursos económicos y fondos aplicados (euros invertidos en repoblación forestal por hectárea, euros invertidos en corrección hidrológico-forestal, ayudas de la EU para el abandono de la actividad agraria, ayudas de la EU para la mejora de la infraestructura agraria, ayudas agroforestales en espacios protegidos), sin embargo la obtención de estos datos administrativos no ha sido posible en la mayoría de las veces; en otras ocasiones, cuando se consiguieron, fue imposible determinar en qué anualidad se recibieron y, por

tanto, no se pudieron descontar ni capitalizar los gastos, las inversiones y las subvenciones. En consecuencia, sólo quedaron como fuentes de información útil los indicadores físicos de las actuaciones y no los económicos.

Las unidades de gestión o decisión (DMU) utilizadas han sido los términos municipales y los indicadores se han estandarizado para evitar los problemas derivados de la distinta extensión de los municipios. Así, primeramente se obtuvo el incremento de cada indicador mediante resta entre los años 1977 y 2003 (Tabla 1), posteriormente se centraron y dividieron entre su rango (Máximo menos mínimo valor). En consecuencia, a partir de los datos primarios escalados según la superficie del municipio se obtuvo una matriz de datos, todos positivos y estandarizados (Ali & Seiford, 1990; Knox & Pastor, 1995), con la que se procedió a realizar el Análisis Envolvente de Datos.

Los indicadores de estado utilizados para caracterizar la desertificación han sido la erosión edáfica, la salinización, la diversidad paisajística y la población.

O1: Erosión: Promedio municipal de la erosión laminar (Tn/ha)

O2: Salinización: % de superficie municipal con procesos de salinización

O3: Diversidad paisajística: Media de índice de Shannon en el término municipal (Índice adimensional)

O4: Población: Número de habitantes (x100 por kilómetro cuadrado)

Los indicadores de respuesta o actuaciones fueron:

E1: Superficie forestal repoblada (% de superficie forestal)

E2: Superficie con prácticas de conservación de suelos gestionadas por proyectos de corrección hidrológico-forestal (% de superficie gestionada)

E3: Superficie de cultivos de secano abandonados (% de cultivos secano)

E4: Superficie ocupada por espacios naturales protegidos (% de superficie protegida).

4. Análisis Envolvente de Datos (DEA) aplicado a la evaluación de las actuaciones contra la desertificación.

El Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una aplicación de la programación lineal multicriterio (Charnes et al., 1978) que busca la optimización de la razón entre resultados y recursos aplicados dentro del subconjunto de unidades de decisión

analizadas (DMU). El DEA identifica las unidades de gestión más eficientes en sistemas donde la función objetivo es la razón de objetivos del tipo “más es mejor” junto a recursos del tipo “menos es mejor”, utilizándose frecuentemente en la evaluación coste-beneficio y en el análisis de eficiencia de unidades de producción (Charnes et al., 1981; Banker et al., 1984). Sin embargo, desde su aparición en 1978, su uso se ha ido extendiendo a una gran variedad de aplicaciones y sectores (Emrouznejad et al., 2008) que incluyen tanto el análisis de la eficiencia de entidades mercantiles (Norman & Stoker, 1991; Cooper et al., 2007) como de entidades no mercantiles como colegios (Bessent & Bessent, 1980), centros de investigación (Thompson et al., 1986) y hospitales (Eakin, 1991; Dalmau & Puig-Junoy, 1998).

En nuestro caso se quiere maximizar la variación en el tiempo de los indicadores de estado de la desertificación (Erosión (O_1), Salinización (O_2), Diversidad paisajística (O_3), Población (O_4)) obtenida por la aplicación de las actuaciones contra la desertificación del territorio (Reforestación (E_1), Conservación de suelos (E_2), Abandono de cultivos (E_3), Espacios naturales protegidos (E_4)). Todos los indicadores han sido calculados mediante la diferencia entre el valor del año 2003 y del año 1978.

El DEA establece un indicador de eficiencia (θ_i), menor o igual a la unidad, en cada DMU (término municipal i). La maximización de la eficiencia se puede alcanzar mediante la maximización de los objetivos o la minimización de los recursos. Cada DMU (i) elige la más ventajosa ponderación de sus objetivos (u_{ji}) y sus recursos (v_{ki}), lo que conduce a obtener la máxima eficiencia (θ_i) en su territorio. La formulación matemática básica del DEA es:

$$\begin{aligned} \max \quad \theta_i &= \frac{\sum_{j=1}^m u_{ji} \cdot O_{ji}}{\sum_{k=1}^r v_{ki} \cdot E_{ki}} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \\ \text{subjeta a} \quad &\frac{\sum_{j=1}^m u_{ji} \cdot O_{ji}}{\sum_{k=1}^r v_{ki} \cdot E_{ki}} \leq 1 \\ \text{para} \quad &u_{ji}, v_{ki} \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, r) \end{aligned}$$

Siendo m el número de objetivos, r el número de recursos e i el número de unidades de decisión (DMU).

En cada DMU (i) se resuelve el sistema, obteniéndose un índice (θ_i) que expresa el grado de eficiencia de los recursos aplicados; cuanto más cercano a 1 es θ_i , la eficiencia es mayor. Por otra parte, los DMUs de máxima eficiencia servirán de puntos

de referencia para las DMUs ineficientes en la determinación de las componentes de mejora (Cooper et al., 2007).

Para evitar la indeterminación en la maximización de un cociente se ha de fijar bien el denominador bien el numerador, apareciendo una nueva restricción en el sistema. Cuando se fija el denominador se dice que es un modelo de Charnes-Cooper-Rhodes (CCR) input-orientado, siendo adecuado puede analizar efecto de la variación de una componente del vector de inputs sobre el resto de sus componentes (Charnes et al., 1981). El sistema a resolver en el modelo CCR-input-orientado para cada DMU (i) es:

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{j=1}^m u_j \cdot O_j = \theta \\ \text{sujeto a} \quad & \sum_{k=1}^r v_k \cdot E_k = 1 \\ & - \sum_{k=1}^r v_k \cdot E_k + \sum_{j=1}^m u_j \cdot O_j \leq 0 \\ & u_j, v_k \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, r) \end{aligned}$$

En el caso fijar los numeradores se dice que el modelo es CCR-output-orientado y se utiliza para analizar el efecto provocado por la variación de un output sobre el resto de output.

Para analizar las políticas contra la desertificación se ha elegido un análisis CCR-input-orientado. Conformes a los teoremas de programación lineal, el sistema anterior se puede expresar en forma dual como:

$$\begin{aligned} \min \quad & g_0(\theta, s^+, s^-) = \theta - \varepsilon \cdot \left(\sum_{k=1}^r s_k^- + \sum_{j=1}^m s_j^+ \right) \\ \text{sujeto a} \quad & \theta \cdot E_{k0} - \sum_{i=1}^n E_{ki} \cdot \lambda_i - s_k^- = 0 \quad \forall k = 1, 2, \dots, r \\ & \sum_{i=1}^n O_{ji} \cdot \lambda_i - s_j^+ = O_{j0} \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \\ & \lambda_i \geq 0, \quad s_k^- \geq 0, \quad s_j^+ \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, r; i = 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

Donde E_{k0} y O_{k0} son, respectivamente, los inputs y outputs de la solución óptima factible en el dual, s_k^- son los excesos de inputs y s_j^+ son los excesos de outputs para alcanzar el óptimo, y λ_i son pesos que conforman una combinación óptima de los DMUs eficientes que es utilizada para evaluar la DMU ineficiente i (Cooper, 2007).

En principio, la resolución del DEA proporciona un orden de preferencia entre las DMUs, las cargas (u_{ji} , v_{ki}) y un conjunto de variables de holgura (s_k^- , s_j^+) que nos indican las cantidades de inputs y outputs que pueden ser eliminadas sin que la solución óptima varíe.

Este análisis DEA básico es de gran utilidad cuando se estudia la eficiencia sobre un conjunto extenso de DMUs o cuando se analiza la evolución de la eficiencia a lo largo de una serie de años (Norman & Stoker, 1991; Charnes et al., 2007).

Sin embargo, cuando se tienen pocas DMUs y/o el número de variables utilizadas es grande, es muy probable obtener un elevado número de DMUs óptimas, apareciendo multitud de empates de eficiencia, por lo que se tienen que buscar nuevos indicadores que generen una relación de orden. Un paso lógico es aplicar los pesos de cada DMU al resto de unidades, diciéndose que se realiza una valoración cruzada de la eficiencia. En cada DMU se obtiene un conjunto de i índices de eficiencia del que se puede obtener un valor medio. Con el fin de valorar adecuadamente las DMUs máximo-eficientes y disminuir la influencia de las ponderaciones de las DMUs ineficientes se aplica una media ponderada proporcional a la eficiencia muestral (Sexton et al., 1986; Oral et al., 1991). Sin embargo, es más robusta la media ponderada obtenida mediante la

convergencia de la expresión:
$$\bar{\theta}_i = \sum_{i,j=1}^n (\bar{\theta}_i \cdot \theta_{ij}) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \bar{\theta}_i \right)^{-1}$$

La media convergente de las eficiencias cruzadas ($\bar{\theta}_i$) es un indicador consistente y robusto que genera una relación de orden válida para analizar las unidades de gestión cuando el objetivo perseguido es la optimización global de la eficiencia (Green, Doyle & Cook, 1996).

Algunos investigadores han establecido métodos de optimización de la eficiencia cruzada en dos fases (Doyle & Green, 1994) que facilitan la modelización de las interacciones que se establecen entre las DMUs en el logro de sus objetivos. Entre estos trabajos están los desarrollados por Liang, Wu, Cook y Zhu (2008) y Wang y Chin (2010) donde se establecen distintos modelos de optimización según tipos de competencia y funciones objetivos (e.g., en un ambiente de competencia agresiva el gestor maximiza su eficiencia condicionada a la minimización de las eficiencias de los competidores; en un ambiente benevolente se busca la optimización de todas las unidades sin condicionantes; un ambiente colaborativo se buscaría la optimización las funciones conjuntas).

En el caso de las políticas de desertificación parece procedente fijar un ambiente benevolente de competencia, donde todos los municipios intentan optimizar sus políticas sin competir con el resto de municipios y donde se maximiza el objetivo comarcal. La formulación matemática del DEA sería:

$$\begin{aligned}
& \max \quad \sum_{j=1}^m u_{ji} \cdot \left(\sum_{i=1, j \neq k}^n O_{ki} \right) \\
& \text{sujeto a:} \quad \sum_{k=1}^r v_{ki} \cdot \left(\sum_{i=1, j \neq k}^n E_{ji} \right) = 1 \\
& \quad -\theta_i^* \cdot \sum_{k=1}^r v_{ki} \cdot E_{ki} + \sum_{j=1}^m u_{ji} \cdot O_{ji} \leq 0 \\
& \quad -\sum_{k=1}^r v_{ki} \cdot E_{ki} + \sum_{j=1}^m u_{ji} \cdot O_{ji} \leq 0, \quad i=1, \dots, n, \quad j \neq k \\
& \quad u_{ji}, v_{ki} \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, r)
\end{aligned}$$

La salida de resultados proporciona el valor máximo de la eficiencia (θ_i^*), los valores óptimos de las ponderaciones de objetivos (u_{ji}) y de recursos (v_{ki}), los excesos de inputs (s_k^-) y de outputs (s_j^+) y las distancias a las políticas más eficientes (λ_i).

5. Establecimiento de escenarios

Con el fin de analizar la robustez de las políticas de desertificación a cambios de los criterios de valoración social se han fijado tres escenarios. En el “Escenario 1” se considera objetivo multicriterio con mejora de la erosión, disminución de la salinización, aumento de la diversidad paisajística y aumento de la población, con aplicación de los recursos de repoblación forestal, planificación y conservación de suelos, abandono de cultivos de secano e incremento de espacios naturales protegidos. Este escenario estaría vinculado a una sociedad con una alta concienciación ambiental donde se valora la fertilidad edáfica, la calidad de los acuíferos, el fomento de paisajes naturales y con una población estable.

En el “Escenario 2” se ha eliminado el objetivo de aumento de la población. Esta opción se ha establecido pensando particularmente en la cuenca del Guadalentín y en las cuencas del levante español cercanas a la costa, donde la evolución de la población está más vinculada al turismo que a la agricultura.

En el último “Escenario 3” se ha querido analizar sólo el objetivo erosión que históricamente fue el principal motivo de los trabajos hidrológico-forestales en esta zona de España y que está asociado a comarcas del interior peninsular con fuerte componente agropecuario.

6. Caracterización de las actuaciones en las unidades de gestión en el período 1978-2003.

A continuación se resumen las actuaciones contra la desertificación que se han realizado en los diferentes términos municipales (Tabla 1) durante el periodo de análisis:

Aguilas: En este término municipal se realizaron extensas labores de conservación de suelos, se paró el abandono de secanos pero se efectuó poca repoblación. En cuanto a los resultados obtenidos, se moderó mucho la erosión, se incrementó la población y diversidad paisajística, aunque también aumentó la salinización.

Aledo: Se realizó mucha repoblación forestal pero escasas labores de conservación de suelos, se paró el abandono de cultivos; disminuyó la erosión, no se produjo salinización, mejoró la diversidad paisajística y aumentó de población.

Alhama: En este periodo hubo poca actividad repobladora, la medidas de conservación de suelos fueron de intensidad media, se abandonaron tierras de secano y se aumentó la extensión de los espacios protegidos. Empeoró la salinidad, la diversidad paisajística y la erosión ligeramente, por el contrario la población aumentó considerablemente.

Librilla: No se realizaron trabajos de repoblación forestal, pero no se abandonaron los cultivos ni se crearon nuevos espacios naturales. Como resultado, disminuyó poco la erosión y empeoró considerablemente la diversidad paisajística y el nivel de salinización.

Lorca: Se mantuvo una acción repobladora media y hubo mucho abandono de secanos; el estado de salinización empeoró pero aumentó la población. Hubo un tenue incremento de la diversidad paisajística.

Mazarrón: Se realizó poca reforestación, hubo mucho abandono de cultivos pero sin aumentar los espacios naturales protegidos. Como resultado, disminuyó la erosión, mejoró la diversidad y aumentó la población pero se extendió el proceso salinización.

Puerto Lumbreras: Casi no se repobló con arbolado ni se incrementó la superficie de protegida de espacios naturales, sin embargo hubo mucho abandono de tierras de secano y aumento la diversidad paisajística. La erosión edáfica mejoró levemente y la salinización empeoró.

Totana: Hubo mucho trabajo de repoblación forestal, poco abandono de cultivos de secano y poco aumento de los espacios naturales. El estado de la erosión no mejoró

pero aumentó la diversidad paisajística y la población, sin embargo la salinización aumentó.

Tabla 1. Matriz de componentes de las políticas de contra la desertificación: 1978-2003
Diferencia de indicadores de respuesta y situación entre 2003 y 1978

	O1: EROSION	O2: SALINIZACION	O3: DIVERSIDAD	O4: POBLACIÓN	E1: REPOBLACIÓN FORESTAL	E2: CONSERVACION SUELOS	E3: ABANDONO SECANOS	E4: ESPACIOS PROTEGIDOS
Aguilas	0,24	-15,50	19,45	69,62	0,80	84,10	-0,60	7,50
Aledo	0,16	0,00	5,48	-0,64	9,02	-8,97	0,30	0,00
Alhama	-0,01	-6,02	-13,91	31,84	0,12	21,69	6,70	28,40
Librilla	0,07	-0,14	-30,13	4,09	-1,16	1,16	2,10	14,80
Lorca	0,13	-5,30	3,48	155,98	4,67	2,05	8,60	0,70
Mazarrón	0,24	-13,64	11,92	105,71	0,50	18,50	8,10	5,30
P.Lumbreras	0,07	-1,00	15,03	27,71	-1,30	4,51	12,20	0,00
Totana	0,00	-4,15	2,84	61,20	5,98	41,90	1,00	1,90

7. Análisis de resultados

Escenario 1: Objetivo (Erosión, Salinización, Diversidad paisajística, Población) y Recursos (Repoblación forestal, Conservación de suelos, Abandono de secanos, Espacios protegidos)

En principio todas las políticas son CCR-input-orientadas óptimas excepto Alhama ($\theta_3=0'58$), que tiene un exceso de repoblación forestal en sus inputs y sobreexcediendo el objetivo de población. Los DMUs de referencia de Alhama son Librilla ($\lambda_4=0'45$), Puerto Lumbreras ($\lambda_7=0'12$), Mazarrón ($\lambda_6=0'10$), Aguilas ($\lambda_1=0'09$) y Lorca ($\lambda_5=0'06$).

El distribución media de los recursos de las unidades eficientes ha sido: 11% repoblación, 26% prácticas de conservación, 35 % abandono de cultivos de secano y 28 % ampliación de espacios protegidos.

La ordenación de las políticas realizadas mediante valoración cruzada benevolente es: Lorca ($\theta_5^*=0'93$), Aledo ($\theta_2^*=0'62$), Puerto Lumbreras ($\theta_7^*=0'58$), Aguilas ($\theta_1^*=0'52$), Librilla ($\theta_4^*=0'50$) y Mazarrón ($\theta_6^*=0'47$). Las peores políticas son las llevadas a cabo en Totana ($\theta_8^*=0'27$) y Alhama ($\theta_3^*=0'10$).

La eficiencia de Lorca se debe a su fuerte componente poblacional en los outputs y a la gran eficiencia por unidad aplicada de la superficie de espacios protegidos. Lorca actualmente está lejos de considerarse un ayuntamiento en proceso de desertificación, debido al incremento de la población generado por el incremento de los regadíos, sin embargo el proceso de salinización de sus suelos puede tener graves efectos negativos a medio plazo.

Aledo es eficiente gracias a la bajada de la erosión, presentando una alta eficiencia en la utilización del recurso de la repoblación forestal.

Puerto Lumbreras alcanza una alta eficiencia gracias al aumento de población y su mayor input es al abandono de las tierras de cultivo. Es un caso similar a Lorca donde los invernaderos están generando una actividad que fija la población pero que puede tener serias consecuencias por el proceso de salinización.

Escenario 2: Objetivos (Erosión, Salinización, Diversidad paisajística) y Recursos (Repoblación forestal, Conservación de suelos, Abandono de secanos, Espacios protegidos)

En principio, todas las políticas son CCR-input-orientadas óptimas excepto las de Alhama ($\theta_3=0'52$), Lorca ($\theta_5=0'81$) y Totana ($\theta_8=0'94$). La exclusión del objetivo de población ha empeorado la ineficiencia de Alhama. Lorca, que era eficiente por su elevada población, ha pasado a ser una DMU ineficiente, con una excesiva aplicación de prácticas de conservación de suelos y de abandono de secanos. Las DMUs de referencia de Lorca son Puerto Lumbreras ($\lambda_7=0'49$), Aledo ($\lambda_2=0'45$) y Mazarrón ($\lambda_7=0'08$). La tercera DMU ineficiente es Totana, que tiene exceso de repoblaciones y holgura en el objetivo de erosión. Las DMUs de referencia de Totana son Aledo ($\lambda_2=0'63$), Aguilas ($\lambda_1=0'15$), Puerto Lumbreras ($\lambda_7=0'06$) y Librilla ($\lambda_4=0'04$).

La distribución de recursos aplicados por las DMUs eficientes ha sido: 13% repoblación, 17% conservación de suelos y planificación hidrológica, 39% abandono de tierras de secano y 31% de protección de espacios naturales.

La ordenación de las mejores políticas mediante valoración cruzada benevolente es: Aledo ($\theta^*_2=0'83$), Mazarrón ($\theta^*_6=0'69$), Aguilas ($\theta^*_1=0'66$), Puerto Lumbreras ($\theta^*_7=0'55$), Librilla ($\theta^*_4=0'45$). Las peores políticas serían las relativas a Lorca ($\theta^*_5=0'43$), Totana ($\theta^*_8=0'32$) y Alhama ($\theta^*_3=0'10$).

La eficacia de Aledo se debe a la mejora de la erosión, donde el recurso más eficiente es la repoblación y la conservación de suelos. Mazarrón presenta una elevada

eficacia gracias a un buen control de la erosión que compensa el aumento de la salinización en la zona. Los recursos más ponderados en Mazarrón son el abandono de cultivos de secano y la declaración de espacios protegidos. En Aguilas se ha conseguido bajar la erosión mediante una extensa planificación hidrológica.

Escenario 3: Objetivos (Erosión) y Recursos (Repoblación, Planificación, Abandono, Espacios protegidos)

En principio todas las políticas son CCR-input-orientadas óptimas excepto las de Lorca ($\theta_5=0'81$), Totana ($\theta_8=0'43$) y Alhama ($\theta_3=0'22$). La ineficiente Lorca tiene como DMUs de referencia Puerto Lumbreras ($\lambda_7=0'49$), Aledo ($\lambda_2=0'45$) y Mazarrón ($\lambda_6=0'08$). Totana tiene un exceso de abandono de secanos y sus DMUs de referencia son Aledo ($\lambda_2=0.28$), Aguilas ($\lambda_1=0.11$) y Puerto Lumbreras ($\lambda_7=0.03$). Por otra parte, Alhama tiene de DMUs de referencia a Librilla ($\lambda_4=0.40$) y Mazarrón ($\lambda_6=0.06$).

La contribución media de los recursos de las DMU eficientes ha sido: 11% de repoblación, 22% de planificación, 28% de abandono de cultivos y 39 % de espacios protegidos.

La aplicación del método de evaluación cruzada benevolente ha determinado que las políticas mejores son las aplicadas en Librilla ($\theta_4^*=1'00$) y Aledo ($\theta_2^*=1'00$). La política de Librilla está fundamentada en el aumento del abandono de campos de cultivo y el aumento de espacios protegidos. La eficacia de Aledo está basada en la repoblación forestal. Las peores políticas son las realizadas en Alhama ($\theta_2^*=0'26$) y Totana ($\theta_8^*=0'25$). La ordenación mediante valoración cruzada benevolente se completa con: Mazarrón ($\theta_6^*=0'83$), Lorca ($\theta_5^*=0'76$), Puerto Lumbreras ($\theta_7^*=0'70$) y Aguilas ($\theta_1^*=0'40$).

8. Discusión

El análisis de políticas multiobjetivo es habitualmente complicado dada las posibles interacciones o compensaciones que se pueden establecer entre componentes.

Por otra parte, la existencia de un único gestor por DMU facilita las tareas de planificación, seguimiento y evaluación de las políticas. Sin embargo, en el presente caso, relativo a políticas contra la desertificación, se tiene un objetivo múltiple y múltiples gestores por DMU, dado que en los programas de acción contra la desertificación que se desarrollan en España se entremezclan diferentes administraciones e intereses (Administración central, administración autonómica, administración de la Unión Europea, Confederaciones Hidrográficas, organizaciones no

gubernamentales, empresas y particulares) en una misma unidad de gestión. Además la descoordinación y la falta de entendimiento entre actores es reconocida por todos (Oñate & Peco, 2005). Por otra parte, los efectos de las medidas adoptadas sobre el medio ambiente y la desertificación se dilatan en el tiempo y su medición más efectiva se realiza globalmente en unidades de cuenca (Yitayew et al., 1999) de forma que es difícil establecer una relación causa-efecto para proyectos o actuaciones puntuales (Zhang et al., 2008).

La cuantificación de los efectos provocados por las actuaciones se debería obtener a nivel de ladera para el análisis de la erosión edáfica (Williams, 1975; Cammerat, 2004) o de campo de cultivo para la salinización (Pérez Sirvent, 2003), pero la variabilidad de los resultados y el trabajo de muestreo es tan grande que se inabordable. El nivel de subcuenca se considera idóneo muy adecuado y ha sido utilizado con buenos resultados en los proyectos MEDALUS (Martínez Artero et al., 2004; López Bermúdez et al., 2002; EC, 2001), sin embargo la evaluación económica a este nivel es actualmente inviable.

El trabajo con términos municipales como DMU ha sido factible y los resultados bastante fiables, particularmente cuando los términos municipales son de pequeña extensión como Aledo o Librilla, aunque se estima que en los términos muy grandes como Lorca o Alhama deberían dividirse, a ser posible, en unidades territoriales mas pequeñas y homogéneas. De todas formas, con la información existente actualmente en la cuenca del Guadalentín el término municipal es la unidad mínima de análisis.

La metodología DEA para el análisis de proyectos no mercantiles ha sido utilizada frecuentemente en análisis de políticas universitarias, hidráulicas y agrícolas (Emrouznejad et al., 2008). En el caso de las políticas contra la desertificación, el análisis básico CCR-input-orientado se ha mostrado muy eficaz para desvelar las carencias, defectos y aciertos de las políticas aplicadas en las diferentes DMUs. Por una parte, ha permitido detectar rápidamente las DMUs ineficientes. Así, en el presente estudio, se ha hecho patente que Alhama es ineficiente en todos los escenarios mientras que Lorca y Totana lo son en los escenarios sin objetivos poblacionales. El análisis de cargas de los inputs y outputs de los tres términos municipales son Alhama, Lorca y Totana, han puesto de manifiesto patrones comunes; los tres comparten problemas de salinización de suelos, los dos primeros también comparten un elevado incremento poblacional y el abandono de los cultivos de secano. En efecto los tres son municipios de la vega fértil del Guadalentín con una casuística agraria muy parecida donde la

población se ha incrementado por un auge de los cultivos en invernaderos que ha provocado el abandono de los cultivos de secano (Ballesteros et al., 2001; López Bermúdez et al., 2002).

Las variables de holgura han desvelado las actuaciones que han generado ineficacia local o puntual, tanto por un exceso de inputs como por un sobre output.

Por otra parte, eliminadas estos defectos puntuales de la ineficacia, la identificación de los DMUs de referencia y el cálculo del punto ideal de referencia, mediante una combinación lineal de las anteriores, permiten obtener la distribución de inputs más adecuada para alcanzar la eficiencia de escala. En nuestro estudio, Librilla, Puerto Lumbreras, Mazarrón, Aguilas y Lorca son DMUs eficientes de referencia para Alhama, el punto de referencia teórico se calculará por aplicación de los multiplicadores λ_i al conjunto de inputs de la DMUs de referencia. La comparación de la distribución de inputs de Alhama con la combinación óptima conducirá a la política eficiente de escala para Alhama.

Por otra parte, el análisis de la evaluación cruzada benevolente ha mostrado la posibilidad de alcanzar un máximo comarcal en las políticas de desertificación aplicadas por varios actores. Esta metodología es adecuada para la toma de decisiones de responsabilidad compartida, presentando un método de asignación de pesos lógico y, en principio, adaptado a las preferencias de cada decisor (Doyle & Green, 1994).

Las preferencias obtenidas mediante la evaluación benevolente cruzada ha conformado tres grupos de DMUs: un grupo de máxima eficiencia formado por Aledo (2 primeros y 1 segundo puesto), un grupo de mínima eficiencia formado por Totana (2 penúltimos y 1 último puesto) y Alhama (2 últimos y 1 penúltimo) y un tercer grupo de DMUs de eficiencia variable.

La política de mayor eficiencia se ha desarrollado en Aledo y está caracterizada por un alto porcentaje de repoblación forestal. Las peores políticas, realizadas en Alhama y Totana, comparten extensas superficies de prácticas de conservación de suelos y procesos de salinización considerable.

9. Conclusiones

El análisis DEA genera una fácil interpretación de las políticas desarrolladas y sus resultados. Si se analizan conjuntamente la erosión, la salinización y la población, la

mejor política es la aplicada en Lorca con fuerte abandono del secano y aumento de espacios protegidos generalmente situados en las zonas con fuertes pendientes.

Si la eficacia en los procesos de desertificación se evalúa por el trinomio erosión-salinización-diversidad paisajística, la mejor política es la llevada en Aledo caracterizada por un alto porcentaje de repoblación forestal.

Si sólo se considera la erosión para calificar la mejor política, es nuevamente en Aledo donde se ha alcanzado la máxima eficiencia.

En todos los escenarios contemplados, se ha obtenido que el input más frecuente en las calificadas como DMUs eficientes es el abandono de los campos de cultivos de secano y el segundo contribuyente es el aumento de espacios protegidos. Sin embargo, Aledo, la DMU más eficiente de la comarca lo consigue gracias a la gran efectividad unitaria del recurso repoblación.

9. Bibliografía

Alberdi, I., Saura, S., Martínez-Millán, F.J. (2005): "El estudio de la biodiversidad en el Tercer Inventario Forestal Nacional", *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, n 19, p.11-19.

Ali, A., Seiford, L. (1990): "Translation invariance in data envelopment analysis", *Operations Research Letters*, vol.9, p.403-405

Atance Muniz, I., Tió Saralegui, C. (2000): "La multifuncionalidad de la agricultura. Aspectos económicos e implicaciones sobre la política agraria", *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, nº189, p.29-48

Ballesteros, G. et al. (2001): *Estrategia regional para la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica. Región de Murcia. Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente. Murcia.*

Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W. (1984): "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis". *Management Science*, vol.30, nº9, p.1078-92.

Bessent, M., Bessent, W. (1980): "Determining the comparative efficiency of schools through Data Envelopment Analysis", *Educational Administration Quarterly*, p.57-75

Cammeraat, E.L.H. (2004): "Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment, in southeast Spain", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol.104, p.317-332

- Cansino Muñoz-Repiso, J.M. (2000): "El subsidio agrario. Principales magnitudes (1984-1999)", *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, nº189, p.11-28
- CAAMA (1999): *Mapa digital de suelos de la Región de Murcia. Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente. Murcia.*
- Charnes, A., Cooper, W., Rhodes, E. (1978): "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, vol. 2, p.429-444
- Charnes, A., Cooper, W., Rhodes, E. (1981): "Evaluating program and managerial efficiency: An application of Data Envelopment Analysis to program follow through". *Management Science*, vol.27, p.668-697
- CHCS (2001): *Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura. Memoria. Confederación Hidrográfica del Segura, Murcia.*
- Codorníu, R. (1910): *Trabajos hidrológico-forestales, conferencia de propaganda forestal con proyecciones. Imprenta Alemana. Madrid.*
- Cooper, W., Seiford, L., Tone, K. (2007): *Data Envelopment Analysis (2nd ed.). Springer. New York.*
- Dalmau, E, Puig-Junoy, J. (1998): "Market Structure and Hospital Efficiency: Evaluating Potential Effects of Deregulation in a National Health Service", *Review of Industrial Organization*, vol.13, p.447-466.
- Del Palacio, E., et al., (1999): *La restauración hidrológico-forestal en España. Gestión sostenible de los recursos suelo, agua y vegetación. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.*
- DGCN (2001): *Plan de Acción Nacional de lucha contra la Desertificación. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.*
- DGCN (2002): *Inventario Nacional de Erosión de Suelos. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.*
- DGCN (2003): *III Inventario Forestal Nacional. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.*
- Doyle, J., Green, R. (1994): "Efficiency and cross-efficiency in DEA: derivations, meanings and uses". *Operational Research Society*, vol.45(5), p.567-78.
- Eakin, B.K. (1991): "Allocative inefficiency in the production of hospital services", *Southern Economic Journal*, vol. 58, p.240-248.

- Emrouznejad, A., Parker, B., Tavares, G. (2008): "Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA". *Socio-Economic Planning Sciences*, vol.42, p.151–157
- Enne, G., Zucca, C. (2000): *Desertification Indicators for the European Mediterranean Region*. ANPA, Rome.
- EC (1998): *Evaluation of Agri-environment Programmes. State of Application (EEC) No. 2078/92. Commission of the European Communities, Brussels.*
- EC (2001): *The Soil Protection Communication DG Environment Draft October 2001. Commission of the European Communities, Brussels.*
- EC (2002a): *The Agricultural situation in the European Union 2000 Report. COM (2002) 67 final. Commission of the European Communities, Brussels.*
- EC (2002b): *30th Financial Report on the European Guidance and Guarantee Fund (EAGGF)-Guarantee Section – 2000 financial year, Annex, COM(2002) 552 final, Commission of the European Communities, Brussels.*
- EC (2002c): *The Agricultural situation in the European Union 2000 Report, COM (2002) 67 final, Commission of the European Communities, Brussels.*
- EEA (1999): *Environmental Indicators: Typology and Overview, Technical Report no. 2, European Environment Agency, Copenhagen.*
- EEA (2001): *Reporting on Environmental Measures: Are We being Effective? Environmental issue report no. 25. European Environment Agency, Copenhagen.*
- García-Ruiz, J.M. (2010): "The effects of land uses on soil in Spain: A review", *Catena*, vol.81, p.1-11.
- Green, R., Doyle, J., Cook, W. (1996): "Preference voting and project ranking using DEA and cross evaluation". *European Journal of Operational Research*, vol.90, p.461–72
- Gobin, A., Jones, R., Kirkby, M., Campling, P., Govers, G., Kosmas, C., Gentile, A.R. (2004): "Indicators for pan-European assessment and monitoring of soil erosion by water", *Environmental Science & Policy*, vol.7, p.25–38
- Hammond, A., Adriaanse, A., Rodenburg, E., Bryant, D., Woodward, R. (1995): *"Environmental Indicators: A systematic approach for measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development"*, World Resources Institute, Washington.

ICONA (1988): *Mapas de Estados Erosivos. Cuenca Hidrográfica del Segura. Instituto para la Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.*

INE (2005): *Censo de Población. Instituto Nacional de Estadística, Ministerio de Hacienda, Madrid.*

Knox, L., Pastor, J. (1995): "Units invariant and translation invariant DEA models", *Operations Research Letters*, vol.18, p.147-151

Liang, L., Wu, J., Cook, W., Zhu, J. (2008): "Alternative secondary goals in DEA cross-efficiency evaluation", *International Journal Production Economics*, vol.113, p.1025-1030

López-Bermúdez, F., Barbera, G., Alonso-Sarria, G., Belmonte Serrato, F. (2002): "Natural resources in the Guadalentín Basin (South-east Spain): Water as a Key Factor". In: Geeson, N.A., Brandt, C.J., Thornes, J.B. (Eds.) *Mediterranean desertification: A mosaic of processes and responses*, Wiley. New York

Magurran, A. (1988): *Ecological diversity and its measurements. Princeton University Press.*

MAPA (1978): *Mapa de cultivos y aprovechamientos 1:50000. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.*

MAPA (2003): *Mapa de cultivos y aprovechamientos 1:50000. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.*

Martínez Artero, F. et al. (2004): *MEDALUS III. Planimetría de las repoblaciones forestales en la comarca del Guadalentín.*

Martínez, D.G., Blanco, J.I.J., Amarilla, J.A.S., Pineda, J.F.Z., Blanco, S.Z. (2000): "Forest Policy and Public Forest Production in Spain: 1855-1936". In: Agnoletti, M., Anderson, S., (Eds.), *Forest History. International Studies on Socio-Economic and Forest Ecosystem Change, IUFRO IV Series*, Wien.

Martínez Sánchez, M.J., Pérez Sirvent, C., Tudela, M.J. (2005): *"Desertificación: monitorización mediante indicadores de degradación química". Proyecto DESERTNET: Acción piloto Región de Murcia. Murcia.*

MIMAM (1998a): *Programa de ordenación de acuíferos sobreexplotados/salinizados. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.*

MIMAM (1998b): *Sistema Español de Indicadores Ambientales: subárea suelo. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.*

- MIMAM (2001): *Evaluación ambiental estratégica del Plan Hidrológico Nacional*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- MIMAM (2002): *Plan Nacional de Regadíos*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- MOPU (1989): *Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental: Repoblaciones forestales*. Monografías de la Dirección General del Medio Ambiente, nº 3. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid.
- Norman, M. & Stoker, B. (1991): *Data Envelopment Analysis*. Wiley, New York.
- Oral, M., Kettani, O., Lang, P. (1991): "A methodology for collective evaluation and selection of industrial R&D projects", *Management Science*, vol.37, p.871–885.
- Oñate, J.J., Peco, B. (2005): "Policy impact on desertification: stakeholders' perceptions in southeast Spain", *Land Use Policy*, vol.22, p.103–114
- Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M.J., Vidal, J., Sánchez A. (2003): "The role of low-quality irrigation water in the desertification of semi-arid zones in Murcia, SE Spain", *Geoderma*, vol.113, p.109–125
- Pérez Sirvent, C., Martínez Sánchez, M.J. (2006): "*Es la desertificación una amenaza en las regiones mediterráneas? Algunos indicadores para su diagnóstico*". Uniagro. Murcia
- Rojó Serrano, L. (1998): "Programmes of National agencies for mitigation of desertification in Spain". In: Burke, S., Thornes, J.B., (Eds.), *Actions Taken by National Governmental and Nongovernmental Organizations to Mitigate Desertification in the Mediterranean*, European Commission EUR 18490, Brussels, p. 211-232.
- Rojó Serrano, L., García Robledo, F., Martínez Artero, J.A., Martínez Ruiz, A. (2002): "Management plan to combat desertification in the Guadalentín River basin". In: Geeson, N.A., Brandt, C.J., Thornes J.B. (Eds.). *Mediterranean Desertification: A mosaic of Processes and Responses*, Wiley, Chichester, p.303-317
- Rubio, J.L. & Bochet, E. (1998): "Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe", *Journal of Arid Environments*, vol.39, p.113–120
- Saura, S., Torras, O., Gil-Tena, A., Pascual, L. (2008): "Shape irregularity as an indicator of forest biodiversity and guidelines for metric selection". In: *Patterns and processes in forest landscapes: Multiple use and sustainable management*. Laforzezza R, Chen J, Sanesi G, and others (eds). Springer, p.167-189

Seely, M., Wöhl, H. (2004): "Connecting research to combating desertification". *Environmental Monitoring and Assessment*, vol.99(1), p.23-32

Sexton, T., Silkman, R., Hogan, A. (1986): "Data envelopment analysis: critique and extensions". In: Silkman, R. (Ed.). *Measuring efficiency: an assessment of data envelopment analysis*, Jossey-Bass, San Francisco.

Thompson, R.G., Singleton, Jr. F.D., Smith, B.A., Thrall, R.M. (1986): "Comparative site evaluations for locating high energy lab in Texas", *TIMS Interfaces*, p.1380-1395

UNCOD (1977): *Desertification, its Causes and Consequence*, United Nation Convention on Desertification – UNEP, Pergamon Press, New York

UNCCD (1994): *United Nations Convention to Combat Desertification*, UNEP, Geneve.

Valbuena-Carabaña, M., López de Heredia, U., Fuentes-Utrilla, P., González-Doncel, I., Gil, L. (2009): "Historical and recent changes in the Spanish forests: A socio-economic process", *Review of Palaeobotany and Palynology*, En prensa, accesible online desde el 17 de Noviembre de 2009.

Wang, Y., Chin, K. (2010): "A neutral DEA model for cross-efficiency evaluation and its extension", *Expert Systems with Applications*, vol.37, p.3666–3675

Williams, J.R. (1975): "Sediment routing for agricultural watersheds", *Water Resources Bulletin*, vol.11, p.965–974

Yitayew, M., Pokrzywka, S.J., Renard, K.G. (1999): "Using GIS for facilitating erosion estimation", *Applied Engineering in Agriculture*, vol.15 (4), p.295–301.

Zhang, Y., Degroote, J., Wolter, C., Sugumaran, R. (2008): "Integration of Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) into a GIS framework to assess soil erosion risk", *Land degradation & development*, vol.20, p.84–91